

ELE20: Basis Elektro - Week 4

Hogeschool Rotterdam - Opleiding Elektrotechniek

Vorige les ...

- Werking transistor
- Groot-signaal DC model transistor

Deze les

- Klein-signaal AC model
- Belangrijke parameters bij een versterkerschakeling
- Common-Emitter schakeling
- Emittervolger (Common-Collector) schakeling

Klein-signaal AC model

Na toepassing groot-signaal DC model:

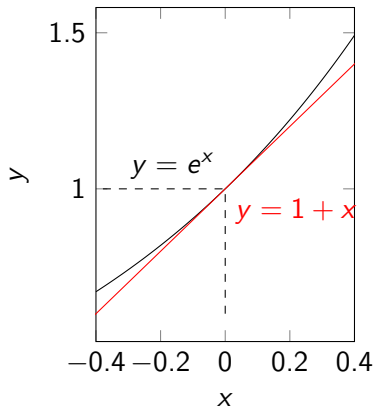
- Transistor is voor DC goed ingesteld
- Werkpunt, ruststroom I_{d0} , Quiescent Point

Diodevergelijking was:

$$I_D = I_s \left[e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1 \right] \approx I_{d0} \cdot e^{\frac{V_D}{V_T}}$$

Hierbij is:

- $I_s \approx 1 \times 10^{-16} \text{ A}$
- $V_T \approx \frac{1}{40} \approx 26 \text{ mV}$
- $I_D = I_{d0}$, DC-werkpunt



Voor kleine AC signalen rondom
werkpunt geldt nu:

$$e^x \approx 1 + x$$

Klein-signaal AC model

Na toepassing groot-signaal DC model:

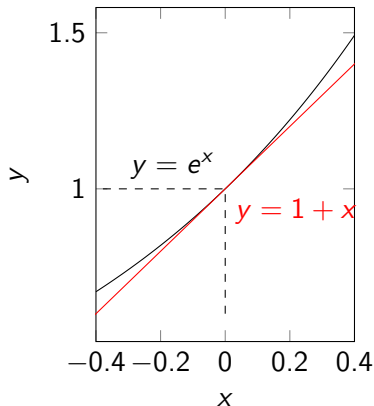
- Transistor is voor DC goed ingesteld
- Werkpunt, ruststroom I_{d0} , Quiescent Point

$$I_D \approx I_{d0} \cdot e^{\frac{V_D}{V_T}}$$

Gaat nu over in:

$$I_D \approx I_{d0} \left(1 + \frac{V_D}{V_T} \right) = I_{d0} + \frac{V_D}{\frac{V_T}{I_{d0}}} = I_{d0} + \frac{V_D}{r_\pi}$$

$$\text{Met } r_\pi = \frac{V_T}{I_{d0}} \approx \frac{1}{40 \cdot I_{d0}}$$



Voor kleine AC signalen rondom werkpunt geldt nu:

$$e^x \approx 1 + x$$

Klein-sigitaal AC model

Na toepassing groot-sigitaal DC model:

- Transistor is voor DC goed ingesteld
- Werkpunt, ruststroom I_{d0} , Quiescent Point

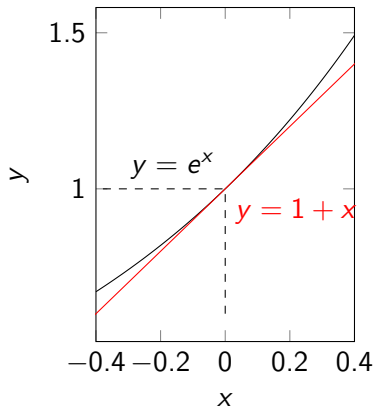
$$I_D = I_{d0} + \frac{V_D}{r_\pi}, \text{ met } r_\pi = \frac{1}{40 \cdot I_{d0}}$$

Conclusie:

- DC werkpunt I_{d0}
- Diode gedraagt zich als een weerstand voor kleine AC variaties

Belangrijk:

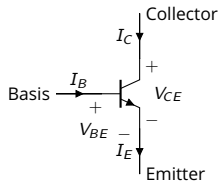
- Transistor BE overgang is ook een diode
- Ingestelde DC-stroom is I_B
- Dus $r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = \frac{\beta V_T}{I_C} \approx \frac{\beta}{40 I_C}$, want $I_C = \beta I_B$ en $V_T \approx \frac{1}{40} \text{ V}$.



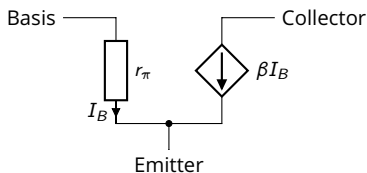
Voor kleine AC signalen rondom werkpunt geldt nu:

$$e^x \approx 1 + x$$

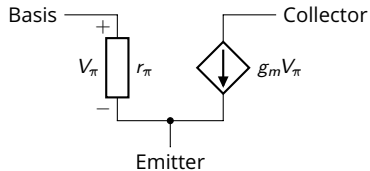
Transistor Klein-sigitaal AC model - het π model



Het π -model dankt zijn naam aan de vorm. In plaats van V_{be} wordt ook V_{π} gebruikt.



Model zoals gebruikt door Hambley en door ons



Alternatief op basis van transconductance

$$g_m = \frac{\beta}{r_{\pi}}$$

Analyse van een transistorversterker

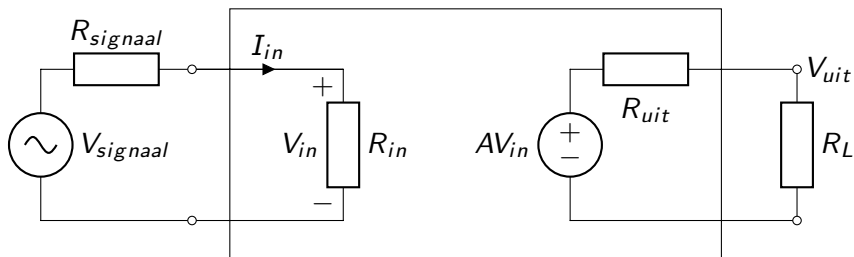
Eerst instellen voor DC m.b.v. het groot-sigitaal DC model:

- Bepaal als eerste de I_{C0} en I_{B0} stromen
- Bepaal V_B , V_C en V_E en controleer het juiste werkgebied
- Gebruik I_{C0} en I_{B0} om r_π te bepalen

Dan instellen voor AC m.b.v. het klein-sigitaal model:

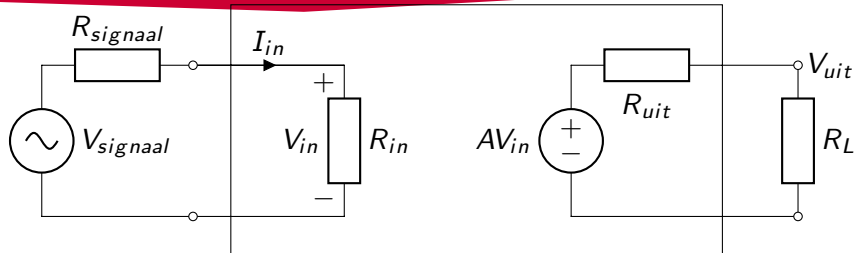
- Vervang de transistor door het klein-sigitaal AC-model.
- Alle condensatoren worden kortsluitingen (condensator laat AC door)
- Alle DC voedingsbronnen worden kortsluitingen (inwendige weerstand is $0\ \Omega$)
- Gebruik deze schakeling om de versterking, ingangsimpedantie en uitgangsimpedantie te berekenen.

Versterkermodel



Een versterker heeft een versterking A , een ingangsimpedantie R_{in} en een uitgangsimpedantie R_{uit} . De spanningsdelers beïnvloeden hierdoor de totale versterking van V_{signaal} tot R_L .

Versterkermodel



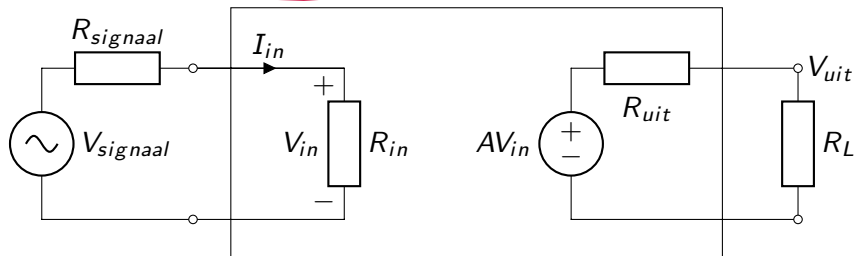
$$V_{in} = V_{signaal} \frac{R_{in}}{R_{signaal} + R_{in}}$$

Als $R_{in} = \infty$, dan is $V_{in} = V_{signaal}$, want:

$$\lim_{R_{in} \rightarrow \infty} V_{signaal} \frac{R_{in}}{R_{signaal} + R_{in}} = \lim_{x \rightarrow \infty} V_{signaal} \frac{1}{\frac{R_{signaal}}{R_{in}} + 1} = V_{signaal} \frac{1}{0 + 1} = V_{signaal}$$

Hoe R_{in} meten? $R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}}$ zonder R_L (no-load condition)

Versterkermodel



$$V_{uit} = AV_{in} \frac{R_L}{R_L + R_{uit}}$$

Als $R_{uit} = 0 \Omega$, dan is $V_{uit} = AV_{in}$.

Hoe R_{uit} meten?

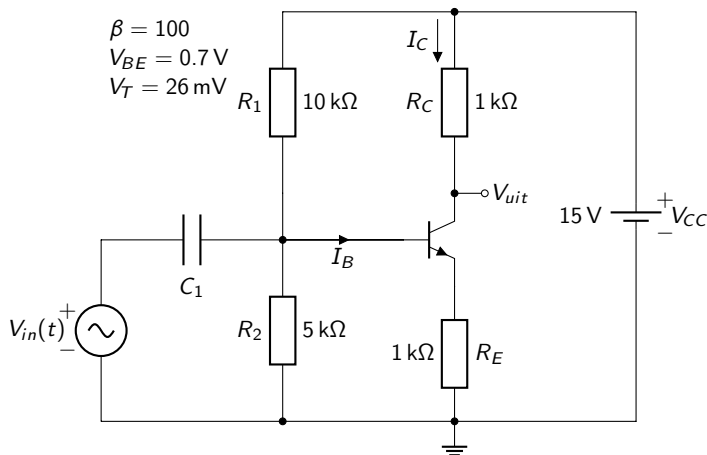
- Testspanning V_{test} aansluiten op uitgang
- $R_{uit} = \frac{V_{test}}{I_{test}}$ met $V_{signaal} = 0 \text{ V}$

Berekenen van...

Bij het berekenen van de versterkereigenschappen gebruik je altijd het kleinsignaalmodel.

- Spanningsversterking is altijd $\frac{V_{uit}}{V_{in}}$
- Ingangsimpedantie bereken je m.b.v. $R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \Big|_{\text{No Load}}$, dus zonder een loadweerstand aan te sluiten op de uitgang (no-load condition)
- Uitgangsimpedantie bereken je door de signaalbron 0 te maken en een externe test spanningsbron op de uitgang aan te sluiten. De uitgangsimpedantie is dan gelijk aan $R_{uit} = \frac{V_{test}}{I_{test}} \Big|_{V_{in}=0}$

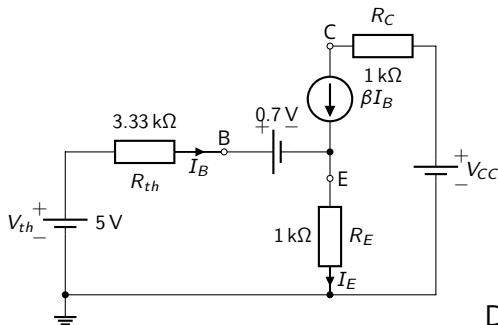
Common Emitter schakeling



Opdracht: bepaal A , R_{in} en R_{uit}

Common Emitter schakeling: Groot-signaal model

Stap 1: teken het groot-signaal DC model (met $V_{in}(t) = 0 \text{ V}$)



Met: $R_{th} = R_1 // R_2$ en

$$V_{th} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$I_B = \frac{V_{th} - 0.7}{R_{th} + (\beta + 1) R_E} = 41.2 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta I_B = 4.12 \text{ mA}$$

$$U_E = (\beta + 1) I_B R_E = 4.16 \text{ V}$$

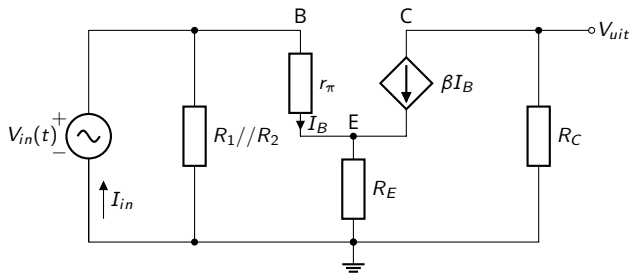
$$U_C = V_{CC} - I_C R_C = 15 - 4.12 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}\Omega = 10.88 \text{ V}$$

$$U_{CE} = U_C - U_E = 6.72 \text{ V}$$

Dus ingesteld in actieve werkgebied

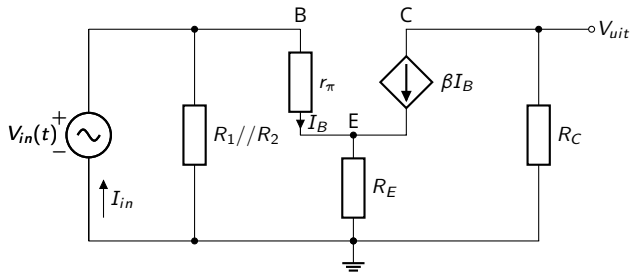
$$r_\pi = \frac{V_T}{I_B} = \frac{26 \text{ mV}}{41.2 \mu\text{A}} = 631 \Omega$$

Common Emitter schakeling: Klein-sigitaal model



Bepaal de **versterking A**

Common Emitter schakeling: Klein-sigitaal model



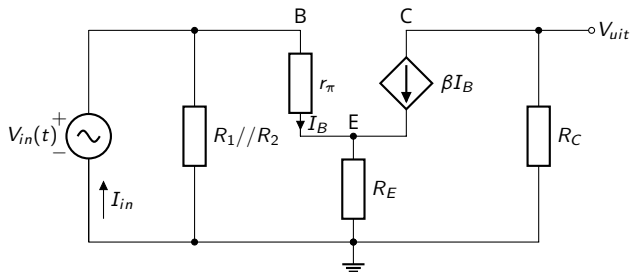
$$\text{KCL op } V_{uit}: \frac{V_{uit} - 0}{R_C} + \beta I_B = 0 \Rightarrow V_{uit} = -\beta I_B R_C$$

$$\text{KVL op ingang: } -V_{in} + I_B r_\pi + (\beta + 1) I_B R_E = 0$$

$$V_{in} = I_B r_\pi + (\beta + 1) I_B R_E$$

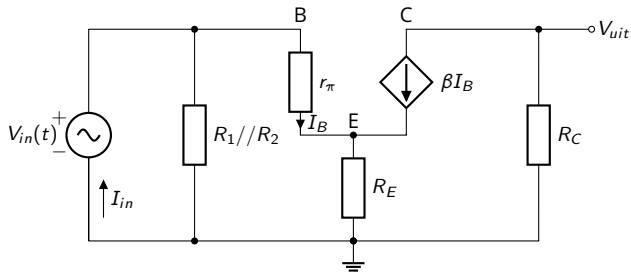
$$A = \frac{V_{uit}}{V_{in}} = \frac{-\beta R_C}{r_\pi + (\beta + 1) R_E} \approx \frac{-R_C}{\frac{r_\pi}{\beta} + R_E} \approx \frac{-R_C}{R_E}$$

Common Emitter schakeling: Klein-sigitaal model



Bepaal de **ingangsimpedantie** R_{in}

Common Emitter schakeling: Klein-sigitaal model



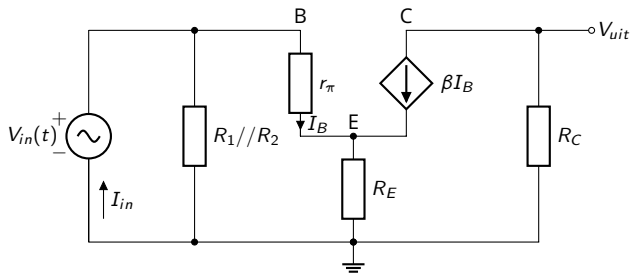
$$\text{KVL op ingang: } -V_{in} + I_B r_\pi + (\beta + 1)I_B R_E = 0 \Rightarrow I_B = \frac{V_{in}}{r_\pi + (\beta + 1)R_E}$$

$$\text{KCL op } V_{in}: -I_{in} + \frac{V_{in} - 0}{R_1 // R_2} + I_B = 0 \Rightarrow I_{in} = \frac{V_{in}}{R_1 // R_2} + \frac{V_{in}}{r_\pi + (1 + \beta)R_E}$$

$$\frac{I_{in}}{V_{in}} = \frac{1}{R_{in}} = \frac{1}{R_1 // R_2} + \frac{1}{r_\pi + (\beta + 1)R_E}$$

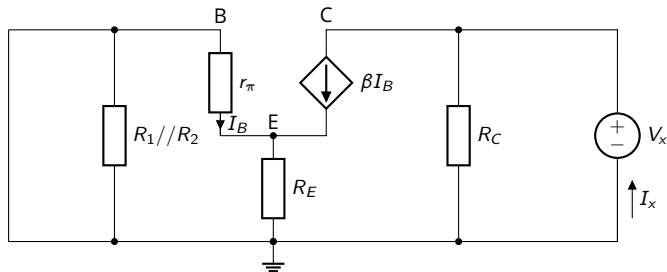
$$R_{in} = R_1 // R_2 // (r_\pi + (\beta + 1)R_E)$$

Common Emitter schakeling: Klein-sigitaal model



Bepaal de **uitgangsimpedantie** R_{uit}

Common Emitter schakeling: Klein-sigitaal model



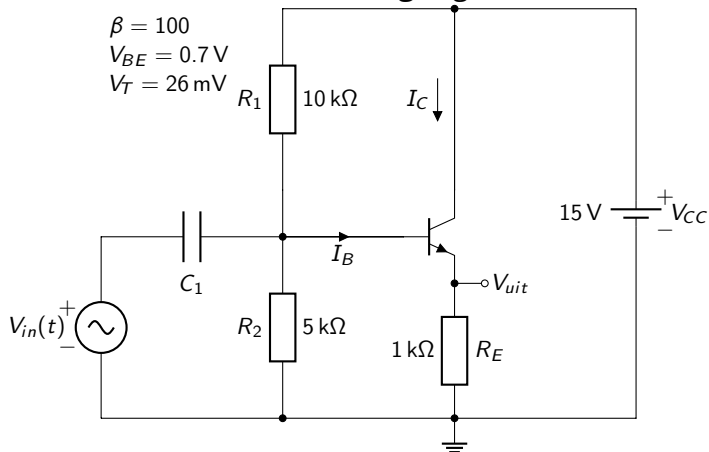
$$\text{KCL op } V_{uit}: -I_x + \frac{V_x - 0}{R_C} + \beta I_B = 0 \Rightarrow I_x = \frac{V_x}{R_C} + \beta I_B$$

$$\text{KVL op } V_{in}: I_B r_\pi + (\beta + 1) I_B R_E = 0 \Rightarrow I_B = 0$$

$$R_{out} = \frac{V_x}{I_x} = R_C$$

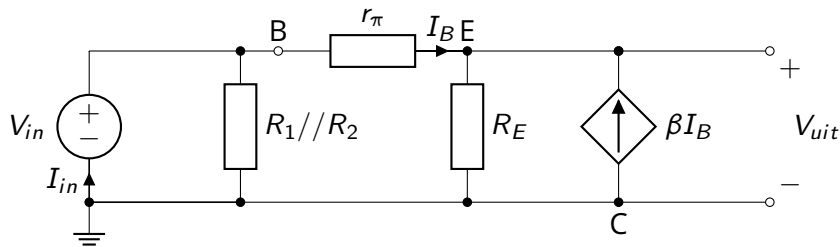
Common Collector schakeling

Ook wel **Emittervolger** genoemd.



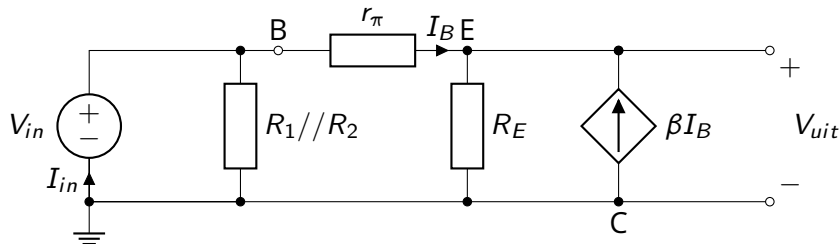
Opdracht: bepaal A , R_{in} en R_{uit}

Common Collector: Klein-sigtaal model



Bereken de **versterking** A:

Common Collector: Klein-sigitaal model



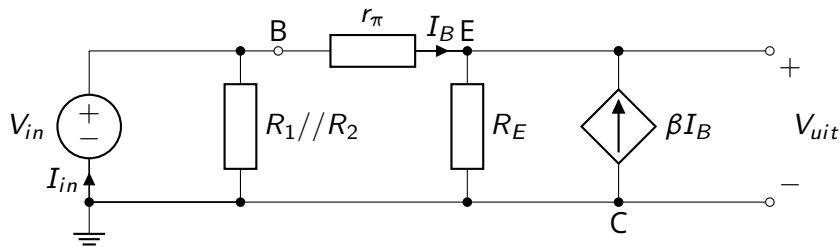
Bereken de **versterking** A:

$$\text{KCL op } V_{uit}: I_B + \frac{0 - V_{uit}}{R_E} + \beta I_B = 0 \Rightarrow V_{uit} = (\beta + 1) I_B R_E$$

$$\text{KVL: } -V_{in} + V_{r_\pi} + V_{uit} = 0 \Rightarrow V_{in} = V_{uit} + I_B r_\pi$$

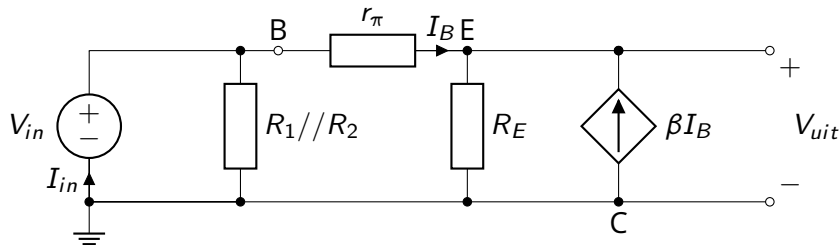
$$A = \frac{V_{uit}}{V_{in}} = \frac{(\beta + 1) I_B R_E}{(\beta + 1) I_B R_E + I_B r_\pi} < 1$$

Common Collector: Klein-sigitaal model



Bereken de **ingangsimpedantie** R_{in} : (zelfde als bij Common Collector)

Common Collector: Klein-sigitaal model



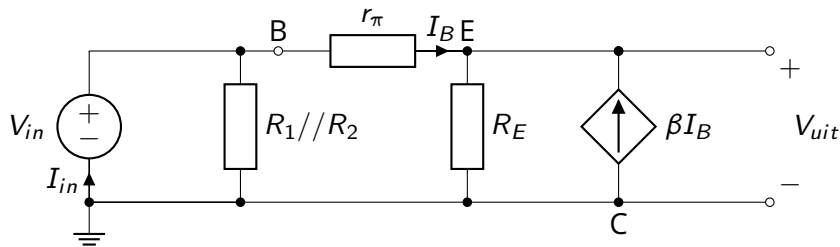
$$\text{KVL op ingang: } -V_{in} + I_B r_{\pi} + (\beta + 1)I_B R_E = 0 \Rightarrow I_B = \frac{V_{in}}{r_{\pi} + (\beta + 1)R_E}$$

$$\text{KCL op } V_{in}: -I_{in} + \frac{V_{in} - 0}{R_1 // R_2} + I_B = 0 \Rightarrow I_{in} = \frac{V_{in}}{R_1 // R_2} + \frac{V_{in}}{r_{\pi} + (1 + \beta)R_E}$$

$$\frac{I_{in}}{V_{in}} = \frac{1}{R_{in}} = \frac{1}{R_1 // R_2} + \frac{1}{r_{\pi} + (\beta + 1)R_E}$$

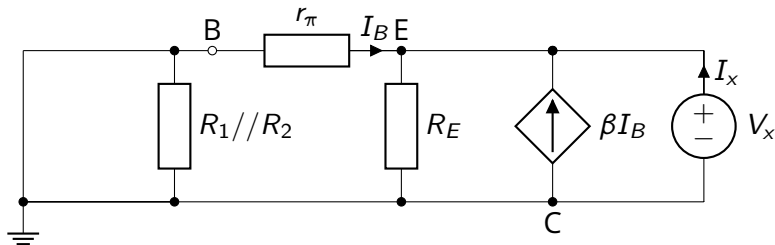
$$R_{in} = R_1 // R_2 // (r_{\pi} + (\beta + 1)R_E)$$

Common Collector: Klein-sigitaal model



Bereken de **uitgangsimpedantie** R_{uit} :

Common Collector: Klein-sigitaal model



$$I_x + \beta I_B + \frac{0 - V_x}{r_\pi // R_E} = 0 \Rightarrow I_x = -\beta I_B + \frac{V_x}{r_\pi // R_E} \Rightarrow I_x = \frac{\beta V_x}{r_\pi} + \frac{V_x}{r_\pi // R_E}$$

$$\frac{I_x}{V_x} = \frac{1}{R_{uit}} = \frac{\beta}{r_\pi} + \frac{1}{r_\pi // R_E}$$

$$R_{uit} = \frac{r_\pi}{\beta} // r_\pi // R_E = \frac{r_\pi}{\beta + 1} // R_E$$

Samenvatting

	Common Emitter	Common Collector
$A = \frac{V_{uit}}{V_{in}}$	$\frac{-\beta R_C}{r_\pi + (\beta + 1)R_E} \approx \frac{-R_C}{R_E}$	1
R_{in}	$R_1 // R_2 // (r_\pi + (\beta + 1)R_E)$	$R_1 // R_2 // (r_\pi + (\beta + 1)R_E)$
R_{uit}	R_C	$\frac{r_\pi}{\beta + 1} // R_E$

De Common Emitter kan een hoge spanningsversterking hebben, maar heeft ook een relatief hoge R_{uit} .

De Common Collector is geen spanningsversterker, maar heeft een lage R_{uit} , wat hem geschikt maakt voor stroomversterking.

Huiswerk...

Huiswerk

- Hambley H12.7 opgaven P12.53 t/m P12.58, NIET: P12.55
- Hambley H12.8 opgaven P12.59 t/m P12.65
- Hambley H12.9 opgaven P12.65 t/m P12.68

Volgende les:

- Spoelen en Condensatoren